第６講　植物の環境応答

次の文１と文２を読み，ⅠとⅡの各問に答えよ。

〔文１〕

植物や緑藻など，光合成を行う生物は，光のエネルギーを利用してCO_2を固定し，糖をはじめとする有機物をつくることができる。この過程は，大きく２つの段階に分けられる。第一段階では，葉緑体のチラコイド膜にある光化学系が光を吸収して，(ア)H_2Oから電子を引き抜き，この電子を順次伝達しながら，ストロマからチラコイド内腔へとH^+を運ぶ。(イ)電子は最終的に補酵素の$NADP^+$に渡され，NADPHが生じる。また，H^+の運搬によって形成されたH^+濃度勾配に従い，H^+がチラコイド内腔からストロマへ流れ込むときに，これと共役して(ウ)ADPからATPが合成される。第二段階では，第一段階で生産された(エ)NADPHとATPを使って，CO_2を固定し糖を合成する一連の反応が進行する。

光合成でつくられた糖からは，様々な有機物が派生する。光合成生物は，こうして得た有機物を体の素材に用いるほか，一部を基質として呼吸を行い，エネルギーを(オ)ATPの形で取り出していろいろな生命活動に利用する。全体を見ると，光合成生物では，光合成で光のエネルギーを有機物の化学エネルギーに変換し，このエネルギーを呼吸で取り出していることになる。

光合成はCO_2を消費してO_2を発生し，呼吸はO_2を消費してCO_2を発生するため，両者を行う光合成生物では，(カ)気体交換はそれぞれの活性を反映した複合的なものとなる。逆に言えば，気体交換の詳しい分析から，光合成と呼吸の動態を推定することができる。

〔文２〕

植物の体は，光合成器官の葉と，それ以外の器官の茎や根からなる。植物は光合成で得た有機物を，これらの器官の構築に振り向けて成長していく。光合成量を増やしてより早く成長するには，葉への物質分配を高め，葉の割合を大きくした方がよいが，周りの植物と光をめぐって競争している環境では，(キ)茎を伸ばして葉を高い位置で展開するために，茎への物質分配も重要である。自立性の植物では，葉の量に応じて茎を太くしなければ葉をしっかりと支えられないので，このことが茎への物質分配の下限を規定し，葉への物質分配を制約している。これに対し，他の植物などを支柱とする「つる植物」では，自分の茎で葉の重量を支えなくてすむので茎を細くでき，その分(ク)茎への物質分配の下限が緩和されるとともに，分配される物質当たりの茎の伸長量が増大する。これらの点で，つる植物は早くまた高く成長するのに有利であると言える。

つる植物は，支柱に絡みついたり巻きついたりするために，特別な器官や性質を発達させている。(ケ)巻きひげは絡みつくための器官の代表例で，様々なつる植物に見られる。(コ)巻きひげは，葉または茎が特殊化したものである。(サ)巻きひげなどを使わずに，茎全体で支柱に

巻きつくようなつる植物も多い。このようなつる植物では，茎の先端が円を描くように動く回旋運動（**図１－１**）を，支柱の探索に利用している。(シ)茎が回旋運動を行いながら成長し，(ス)何か支柱になるものに接触すると屈曲して巻きつくのである。巻きひげの形成にせよ，支柱の探索にせよ，相応のコストがかかるはずであるが，(セ)進化上何度もつる植物が出現していることは，成長上の有利さがこのコストを上回る場合が多いことを示唆している。

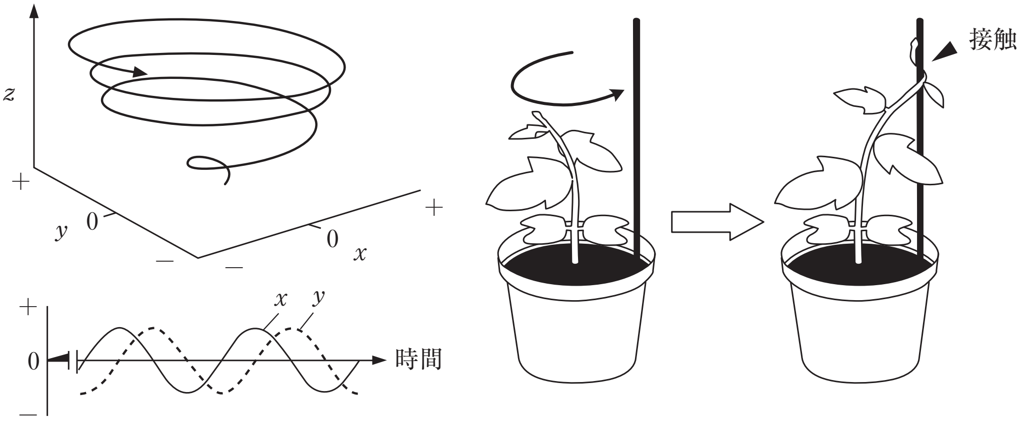


図１－１　つる植物Wの回旋運動と支柱への巻きつき

左上は，xyz 空間における回旋運動中の茎先端部の軌跡。左下は，茎先端のx座標とy座標の変化が示す，水平方向の往復振動パターン。右は，回旋運動をしていた茎が支柱に接触して巻きつく様子。

〔問〕

Ⅰ　文１について，以下の小問に答えよ。

A　下線部(ア)・(イ)のように，光化学系の電子伝達では H_2O からの電子を受けて NADPH が生じるが，自発的な酸化還元反応では逆に NADPH からの電子を受けて H_2O が生じ，エネルギーが放出される。このエネルギーを NADPH 1 分子当たり α とする。下線部(ウ)も自発的な反応とは逆であり，自発的には ATP から ADP が生じ，エネルギーが放出される。このエネルギーを ATP 1 分子当たり β とする。通常，光合成では，2 分子の H_2O から始まる電子伝達に伴い，3 分子程度の ATP が合成される。下線部(エ)では，1 分子のグルコースの合成に相当する反応に，12 分子の NADPH と 18 分子の ATP が使われる。下線部(オ)では，1 分子のグルコースを基質とする呼吸により，最大 38 分子の ATP が合成される。これらを踏まえると，1 分子のグルコースの合成に相当する光合成では，光化学系に吸収された光のエネルギーと α，β について，どのような大小関係が考えられるか。以下の(1)〜(10)から，もっとも適切なものを選べ。

(1)　光エネルギー＜ $12\alpha + 18\beta < 38\beta$

(2)　光エネルギー＜ $38\beta < 12\alpha + 18\beta$

(3)　$12\alpha + 18\beta$ ＜光エネルギー＜ 38β

(4)　38β ＜光エネルギー＜ $12\alpha + 18\beta$

(5)　$12\alpha + 18\beta < 38\beta$ ＜光エネルギー

(6)　$38\beta < 12\alpha + 18\beta$ ＜光エネルギー

(7)　18β ＜光エネルギー＜ $12\alpha < 38\beta$

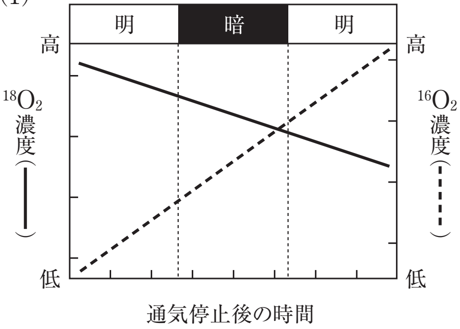
(8)　18β ＜光エネルギー＜ $38\beta < 12\alpha$

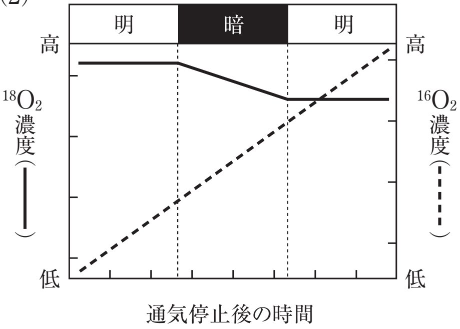
(9)　$12\alpha < 18\beta$ ＜光エネルギー＜ 38β

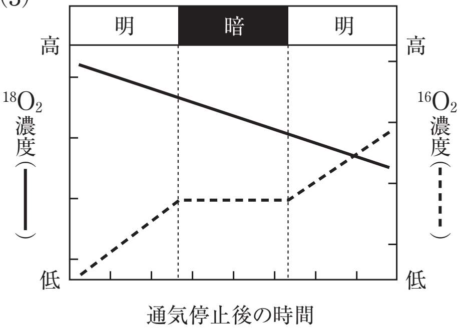
(10)　$18\beta < 12\alpha$ ＜光エネルギー＜ 38β

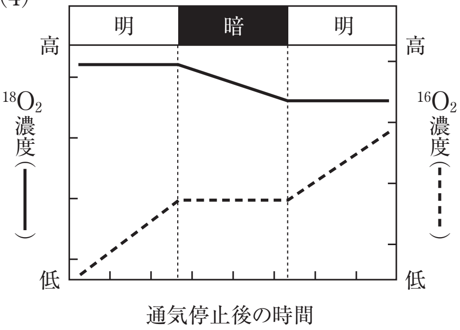
B　下線部(カ)について。光合成と呼吸の活性を同時に調べるための実験として，単細胞緑藻の培養液に $^{18}O_2$ を通気し，通気を止めた後に，光条件を短時間に明→暗→明と切り替えながら，培養液中の $^{18}O_2$ 濃度と $^{16}O_2$ 濃度の変化を測定することを考える。測定開始時点では与えた $^{18}O_2$ 以外に ^{18}O を含む物質は培養液中に存在しないとしたとき，$^{18}O_2$ 濃度と $^{16}O_2$ 濃度はどう変化すると推測されるか。以下の(1)〜(6)から，もっとも適切なものを選べ。

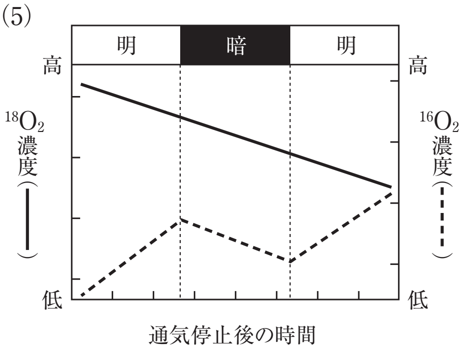
(注) ^{16}O と ^{18}O は酸素原子の安定同位体。天然ではほとんどが ^{16}O。

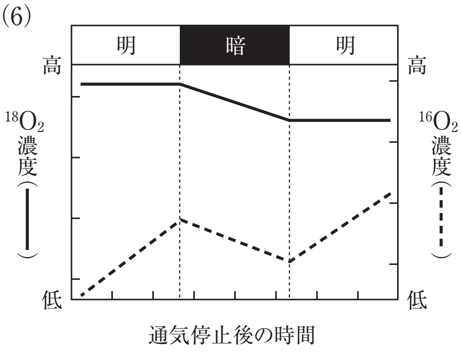
(1)


(2)


(3)


(4)


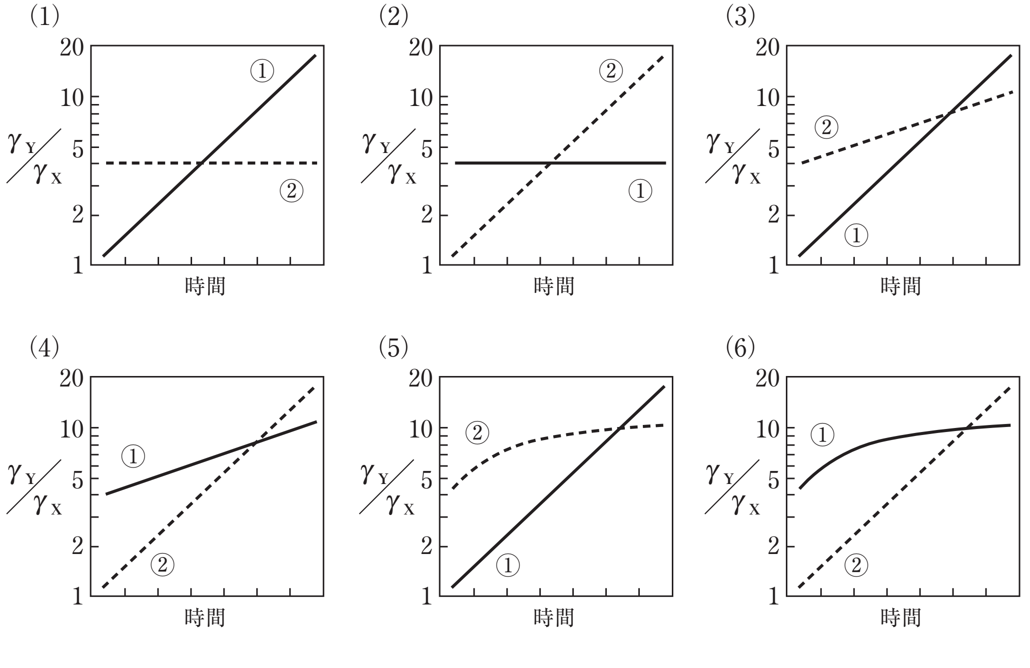
(5)


(6)


Ⅱ　文２について，以下の小問に答えよ。

C　下線部(キ)について。茎の伸長は，光などの様々な環境要因や，体内の植物ホルモンによって調節されている。茎の伸長の抑制にはたらく光受容体を１つ，茎の伸長を促進させる作用をもつ植物ホルモンを２つ答えよ。

D　下線部(ク)について。植物個体が光合成で有機物を生産する速度は，その時点で個体がもつ葉の量に比例し，生産した有機物は，葉とそれ以外の器官に一定の割合で分配されて，各器官の成長に使われるものとする。今，茎の長さ・重量比（長さ / 重量）が１の自立性植物Xと，茎の長さ・重量比が４のつる植物Yを想定し，Yの成長戦略として，茎への物質分配をXの1/4に減らして，葉への物質分配をXの２倍にする場合（戦略①）と，各器官への物質分配をXと同じにする場合（戦略②）の２通りを考える。XとYの茎の伸長速度をそれぞれγ_X, γ_Yとしたとき，２つの戦略（①と②）でγ_Y/γ_Xの変化パターンはどのようになるか。戦略①を実線，戦略②を破線で表したグラフとしてもっとも適切なものを，以下の(1)〜(6)から選べ。



E　下線部(ケ)・(サ)について。巻きひげで支柱に絡みつく植物と，巻きひげをもたず茎全体で支柱に巻きつく植物の例を，それぞれ１種ずつあげよ。ただし，種名は，標準的な和名のカタカナ表記とすること。解答例：巻きひげ －○○，茎全体 －△△

F　下線部(コ)について。下の図（**図１－２**）は，植物Ｚの巻きひげの外観と横断面を示している。Ｚの巻きひげは茎が特殊化したものなのか，葉が特殊化したものなのか。この図から判断し，根拠とともに３行（105字）程度で述べよ。

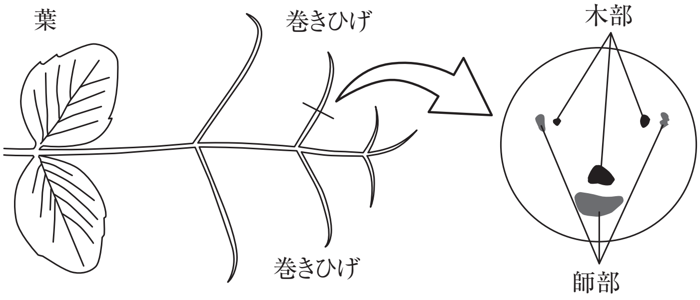


図１－２　　植物Ｚの巻きひげ

左は巻きひげとその周辺部の外観(葉の表側から見たもの)。
右は巻きひげ横断面の拡大図(左の図の紙面手前側が横断面の上側になるように示している)。

G　下線部(シ)について。最近の研究から，回旋運動に重力屈性が関与することがわかってきている。有力な仮説では，重力屈性は**図１－１**左下に示すような往復振動を生み，その結果回旋運動が起きるとされる。しかし，茎の重力屈性の基本を，「茎は重力に対して$_{\text{a}}$鉛直上方向に向かおうとする$_{\text{b}}$一定の強さの負の重力屈性を示し，重力と茎がなす角度を$_{\text{c}}$伸長域で感知し，ずれが$_{\text{d}}$わずかでもあると$_{\text{e}}$すみやかに屈曲する」こととすると，この基本通りでは往復振動は生じない。どの点がどのように異なっていたら，往復振動が生じると考えられるか。以下の(1)～(5)から，もっとも適切なものを選べ。

(1)　ａの点が異なり，鉛直斜め上方向に向かおうとする。
(2)　ｂの点が異なり，強さに周期的な変動がある。
(3)　ｃの点が異なり，茎の先端だけが感知する。
(4)　ｄの点が異なり，ずれが十分に大きくないと反応しない。
(5)　ｅの点が異なり，応答に時間的遅れがある。

H　下線部(ス)について。植物の屈曲反応には，屈曲の方向が刺激の方向に依存する屈性と，依存しない傾性がある。つる植物の茎が支柱に巻きつくときの屈曲反応は，接触屈性のように見えるが，接触傾性の可能性も考えられる。接触傾性である場合，茎の屈曲が支柱に巻きつく方向に起きるのはどのように説明できるか，2行（70字）程度で述べよ。

I　下線部(セ)について。下の図（**図１－３**）は，植物のあるグループについて，DNAの塩基配列情報に基づいて作られた系統樹と，つるに関する形質をまとめたものである。このグループの祖先となった植物はつる性ではなかったとして，グループ内の進化における形質変化の回数を最少とするには，形質の変化がどのように起きたと考えたらよいか。たとえば，「aとbでつる性の獲得が起き，cとdでつる性の喪失が起きた。」というように，図中の記号a～kを使って答えよ。なお，形質変化の回数が最少となる形質変化の起き方が複数ある場合は，それら全てを答えること。

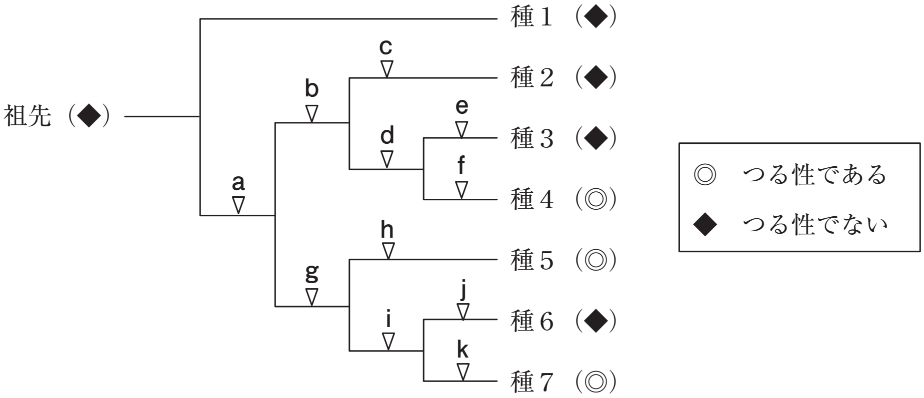


図１－３　植物のあるグループ（種1～種7）の系統樹とつるに関する形質

＜ Note ＞

第６講

Ⅰ　A　(6)

　　B　(6)

Ⅱ　C　光受容体…クリプトクロム

　　　植物ホルモン…オーキシン（IAA，インドール酢酸），ジベレリン，

　　　　　　　　　ブラシノステロイド　から２つ

　　D　(1)

　　E　巻きひげ ― ブドウ，エンドウ，キュウリ などから１つ

　　　茎全体 ― インゲン，アサガオ などから１つ

　　F　双子葉植物である植物Ｚの巻きひげが茎の特殊化したものであった場合，巻きひげの断面図において，木部や師部が環状に配置しているはずである。実際の断面図では，環状の配置ではなく葉で見られる横並びの維管束が丸まったように見えるため，葉が特殊化したものであると考えられる。

　　G　(5)

　　H　つる植物の茎は常に茎の特定の面を内側に向けて回旋しており，接触刺激を受けた場合は必ずその内側方向に屈曲が起こると考えられる。

　　I　・fとgでつる性の獲得が起き，jでつる性の喪失が起きた。

　　　・fとhとkでつる性の獲得が起きた。